

港湾区域内のカキ殻敷設区における生物相の変化と生物による有機物の分解機能の評価

高木 秀蔵¹・近藤 正美²・林 浩志²・藤澤 真也³・加村 聡³

¹ 岡山県農林水産総合センター 水産研究所 (〒701-4303 岡山県瀬戸内市牛窓町鹿忍 6641-6)

現所属: 岡山県農林水産部水産課

E-mail: shiyuuzou_takagi@pref.okayama.lg.jp

² 岡山県農林水産総合センター 水産研究所

³ 正会員 海洋建設 (株) 水産環境研究所 (〒711-0921 岡山県倉敷市児島駅前 1-75)

備讃瀬戸西部の閉鎖性が高く底質のシルト化が進んだ港湾域に全形のカキ殻を敷設し、敷設区における生物相の変化を調べた。敷設2ヶ月後から敷設区の生物は増加しはじめ、1年半後の生物の種類数は117種類、個体数は4,700 inds/m²、湿重量は487.3 g/m²となり、それぞれ対照区の2.2倍、2.3倍、13.2倍となった。敷設区全体で、生物によって無機化される炭素量は114.2 kgC/year/1,000 m²であった。敷設区のカキ殻は、敷設後2年を経過しても埋没することなく、表面が露出していた。カキ殻の敷設により、生物の多様性と現存量が増加するとともに、これらの生物によって流入してくる有機物が無機化され、敷設場所が維持されている可能性が示された。

Key Words : oyster shell, benthos, bio remediation, development of fishery ground, closed sea area

1. はじめに

日本各地の沿岸域には、閉鎖性の高い港湾区域が多数存在し、このような場所では、陸域からの有機物の流入負荷に加えて、海水交換が抑制されるため海底のシルト化や有機汚濁が生じることが多い¹⁾。海底がシルト化すると底生生物(ベントス)相が貧弱になり、結果として生物による有機物の分解機能も同時に消失する。そのため、いったん底質環境が悪化すると、この負のスパイラルが続き、ベントス相は回復しない²⁾。ベントスの減少は、それらを餌とする上位の生物の生存や現存量の低下につながることから、生物多様性の維持、沿岸域の漁業生産の持続的な発展のためには、閉鎖性海域の底質改善技術の開発は必須である。

ベントス相を充実させるための底質改善や漁場造成については様々な技術が存在するが、効果が顕著で分かりやすく、技術的にも容易であることから、覆砂が行われることが多かった。その材料としては、主に海砂利が用いられてきたが、近年、海砂利採取の規制により材料の入手が困難となり³⁾、その実施は難しくなっている。

そういった中、ホタテガイやマガキの貝殻を代替材料として使用する手法が開発されている。貝殻は、海域由来の生物基質であり、有害物質も溶出しないため所定の条件を満たすことにより、底質改善や漁場造成の材料と

して使用することが可能である⁴⁾。加えて、一部の地域では、可食部を採取した後の貝殻の処理にコストを要している場合もあり、養殖業経営の健全化という観点からも貝殻利用技術の開発は必須である。

ところが、粗放的に貝殻のみを潮下帯に敷設した場所の持続性やベントス相の変化を調査した研究例は少ない。このような場所での生物相の知見は、カキ殻を用いた底質改善や漁場造成技術の評価につながることから、非常に重要である。

今回、備讃瀬戸西部の水島港の港湾区域においてカキ殻を敷設し、約2年間、生物調査と環境調査を行った。その結果、カキ殻の敷設場所ではベントスの種類数、個体数が増加することが分かった。さらに、これらの生物による有機物の分解機能によって敷設場所の環境が維持されている可能性が示唆されたので、以下に報告する。

2. 材料と方法

(1) カキ殻の敷設場所の状況

2009年12月に図-1に示す備讃瀬戸西部の港湾区域内の潮下帯(DL: -1.8 m)に、約1,000 m² (32×32 m)、厚さ約0.5 mとなるように、全形のカキ殻を敷設した。なお、カキ殻は、可食部を除いた後に海中に1ヶ月程度静置し、陸上で残渣を除き、乾燥させたものである。2011年4月(敷設16ヶ月後)に図-1(b)に示す範囲について、

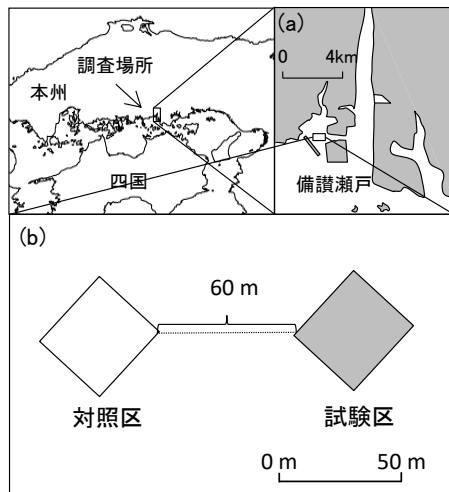


図-1 調査海域図

海底地形探査ソナー HDS-5 (LOWRANCE 社製) を用いて、2 m メッシュで 0.1 m 毎の水深分布を調べた。

(2) 水質、底質、ベントス調査

2009年9月(事前)、2010年1月(敷設1ヶ月後)、2月、4月、6月、8月、11月、2011年2月、4月、6月、9月、11月(敷設23ヶ月後)に図-1(b)の試験区および対照区において以下の調査を行った。

試験区と対照区のそれぞれにおいて多項目水質計 DataSonde 5 (環境システム社製) または Rinko-Profiler (JFEアドバンテック社製) を用いて、海底上 0.1 m の水温、塩分、溶存酸素濃度 (DO)、濁度の測定を行った。対照区では、水質調査時に潜水によってコアサンプラーを用いて 0~10 cm までの表層泥を採取し、化学的酸素要求量 (COD)、強熱減量 (IL) の分析を行った。また、事前調査時では、上記に加えて、試験区、対照区の両区において篩を用いて 0.063 mm 以下の泥の割合 (泥分率) を測定した。なお、試験区では、カキ殻の上にシルト分がごく僅かに堆積しているのみであり、敷設後 20ヶ月においても常にカキ殻面が露出していたため、事前調査以外では底質分析用のサンプルは採取しなかった (図-2)。

上記の調査時に、両区において潜水によって海底表面から深さ約 5 cm までの底泥を 0.1~0.3 m² 程度採取し、1 mm の目合いの篩に残った生物について、種レベルまで

分類し、種類数、個体数、湿重量を測定した。敷設以降の試験区でベントス調査用に採取した底泥とは、実質的には敷設したカキ殻そのものであり、採取された生物はカキ殻に付着または間隙中に生息していた生物である。

(3) 有機物の無機化機能の評価

ベントスの湿重量から乾重量への変換は、中田・畑⁵⁾ が示す次の換算係数を用いた。腹足類 0.045 (乾重量/殻付湿重量)、二枚貝類 0.032 (乾重量/殻付湿重量)、多毛類 0.2592 (乾重量/湿重量)、軟甲類とその他の生物に関しては 0.2945 (乾重量/湿重量) とし、乾重量/炭素量は 0.335 を用いた。ベントスによる有機物の分解速度は、水温と個体乾重量から求めた呼吸速度と同等と考え、Ikeda⁶⁾ が動物プランクトンの呼吸量を見積もるために示した次式から求めた。なお、同手法は、ベントスの無機化機能の評価の際に多くの文献で用いられている^{7,8)}。

$$R=10^{(0.02438T-0.1838)}W^{(-0.01090T+0.1082)} \quad (1)$$

R: 呼吸速度 ($\mu\text{L O}_2\text{mg/DW/h}$)

W: 個体乾重量 (mg)

T: 調査日における海底直上の水温 ($^{\circ}\text{C}$)

これと呼吸商 ($RQ=0.85$)、気体モル体積 (22.4L/mol) を用いて無機化速度 (gC/N/d) を求め、単位面積当たりの個体数から分解速度 (gC/d/m^2) に換算した。上記の式を用いて、調査日ごとの生物による有機物の分解量を計算した。

3. 結果

(1) 海底の状況

2011年4月(敷設16ヶ月後)における水深分布を図-3に示した。対照区周辺の水深は -1.8~-1.6 m、試験区では、-1.6~-1.2 m となっており、カキ殻は逸散、埋没することなくほぼ敷設当初の状況を維持していた。

(2) 水質と底質

期間中の試験区と対照区の海底+0.1 m における濁度、水温、塩分、DO の推移を図-4に示した。なお、データが存在しない場所はいずれも欠測である。

濁度は、敷設当初には試験区と対照区の間で明確な差

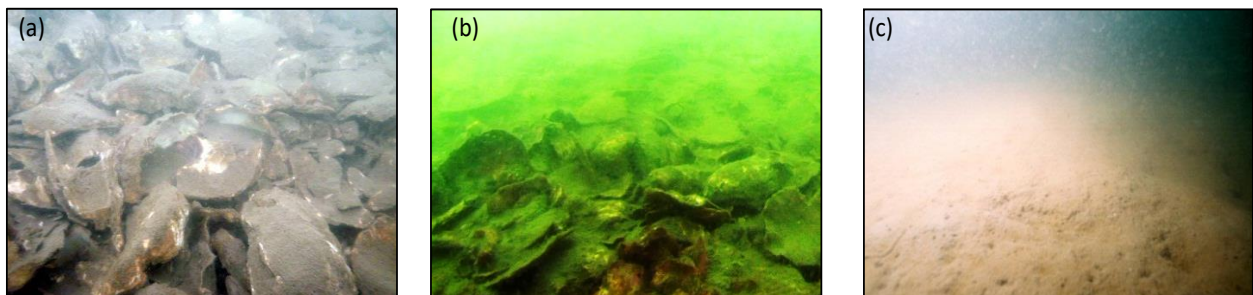


図-2 試験区および対照区の状況 (a) 敷設 5 ヶ月後、(b) 敷設 20 ヶ月後、(c) 対照区

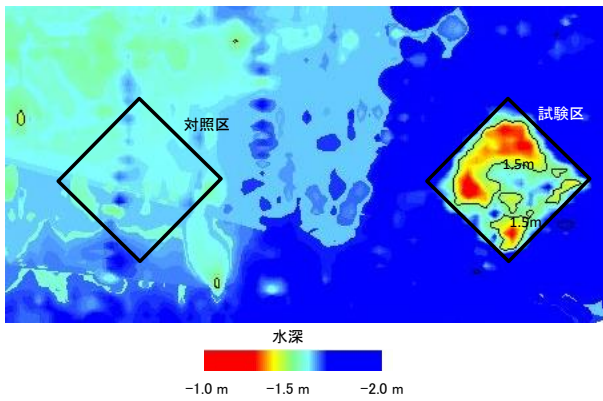


図-3 2011年4月における水深の分布図
(図中の数字は、基準面からの高さを示す)

異はみられなかった (図-4(a)). 2010年4月以降の試験区では 4.5 ± 3.2 (平均値 \pm 標準偏差), 対照区では 25.1 ± 25.5 となり, 試験区において低い値を示した (U-test, $p < 0.05$).

水温, 塩分, DO はいずれも試験区と対照区の間で明確な違いはみられなかった (図-4(b)~(d)). 水温は両区共に, 夏季に高く, 冬季に低下するという明確な季節変動を示した. 塩分は, 試験区で 29.5~33.2, 対照区では 29.6~33.5 となり, 調査日ごとの明確な違いはみられなかった. DOは両区ともに2009年9月を除いて, 水産用水基準⁷⁾で望ましいとされる値: 4.3 mg/L 以上を維持しながら推移し, 調査日ごとの違いはみられなかった.

事前調査における泥分率は, 試験区では 95.2%, 対照区では 97.8%となっており, 両区ともに底質はシルト化していた. 対照区の底泥中の COD, IL の推移を図5に示した. CODは 14.0 ± 2.2 mg/dg となり, 望ましいとされる値⁹⁾: 20 mg/dg 以下であった (図-5). ILは 8.4 ± 0.6 %となった. 両値ともに期間中に大きな変化はみられなかった.

(3) ベントス

試験区および対照区のベントスの種類数, 個体数, 湿重量について腹足綱, 二枚貝綱, 多毛綱, 軟甲綱, その他に分けて示した結果を図6~8に示した.

ベントスの種類数は, 敷設前の試験区では15種類であったが, 2010年の4月には80種類となり, 2011年の4月には期間中最高となる117種類となった (図6(a)). 2010年4月以降の綱別の種類数 (平均値 \pm 標準偏差) は, 腹足綱, 二枚貝綱, 多毛綱, 軟甲綱, その他の順に, 10.1 ± 3.8 , 10.1 ± 3.1 , 27.2 ± 7.8 , 17.9 ± 4.1 , 18.6 ± 4.3 となり, 多毛綱, 軟甲綱の生物が比較的多くみられた. 対照区では, 敷設前には17種類であったが, 2010年4月には42種類となり, 2011年4月には期間中最高となる51種類となった (図-6(b)). 2010年4月から2011年11月までの綱別の種類数は, 腹足綱, 二枚貝綱, 多毛綱, 軟甲綱, その他の順に, 5.9 ± 2.4 , 4.3 ± 2.3 , 14.2 ± 8.3 , 5.8 ± 2.3 , 2.1 ± 1.5

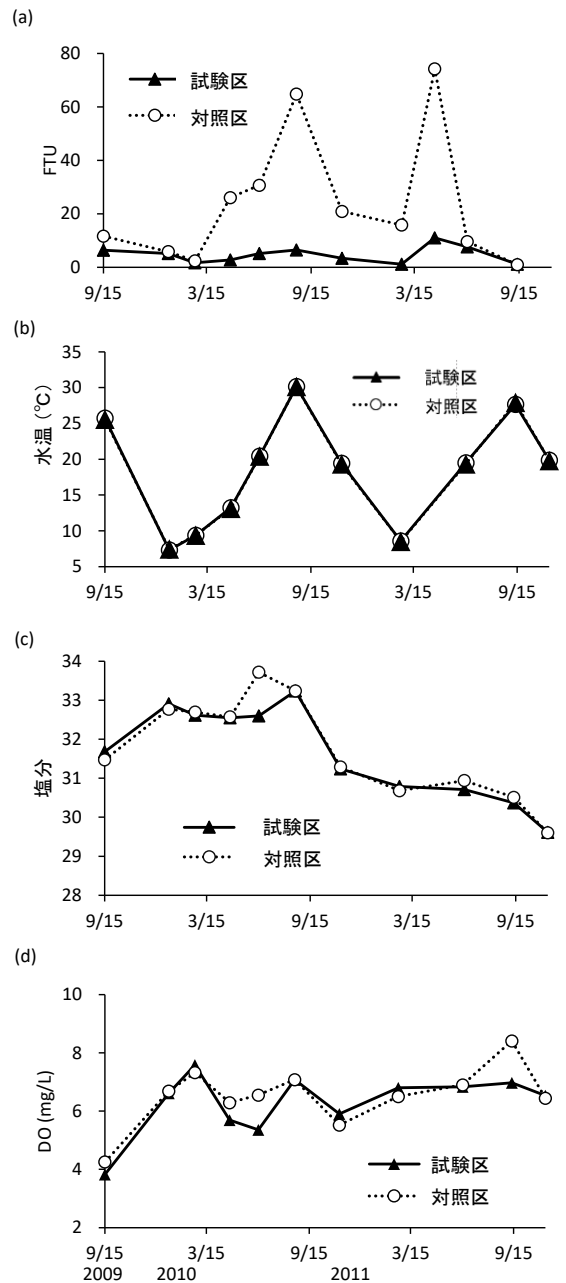


図-4 試験区および対照区の底上0.1mの水質の推移
(a: 濁度, b: 水温, c: 塩分, d: DO)

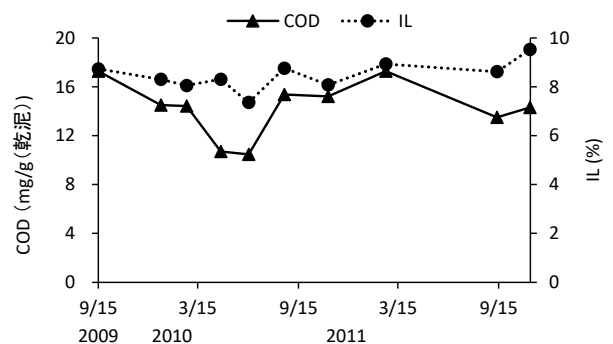


図-5 対照区における底質の推移 (COD, IL)

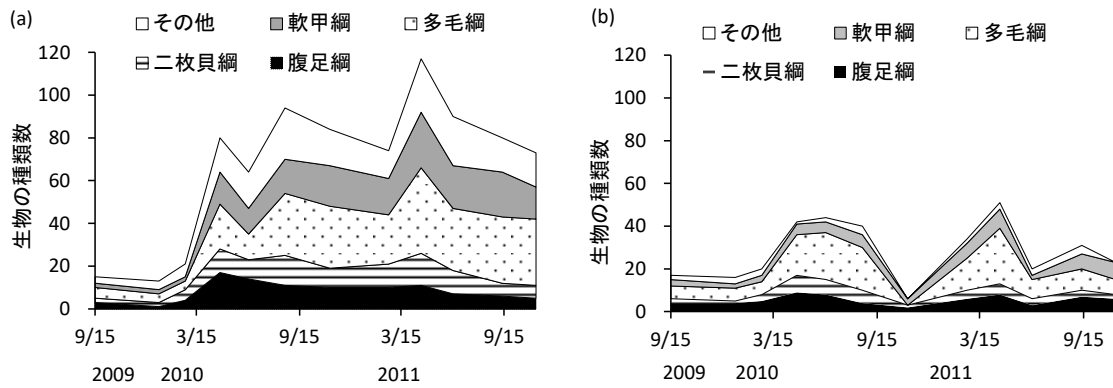


図-6 試験区および対照区におけるベントスの種類数の推移 (a) 試験区, (b) 対照区

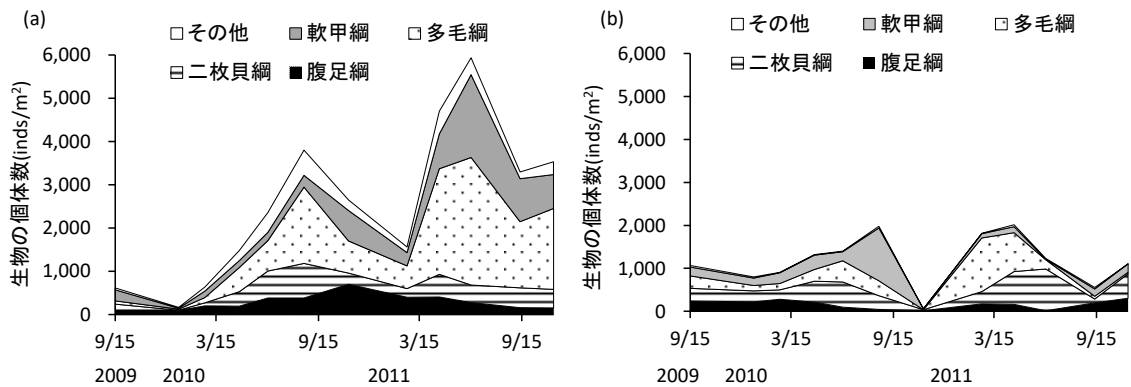


図-7 試験区および対照区におけるベントスの密度の推移 (a) 試験区, (b) 対照区

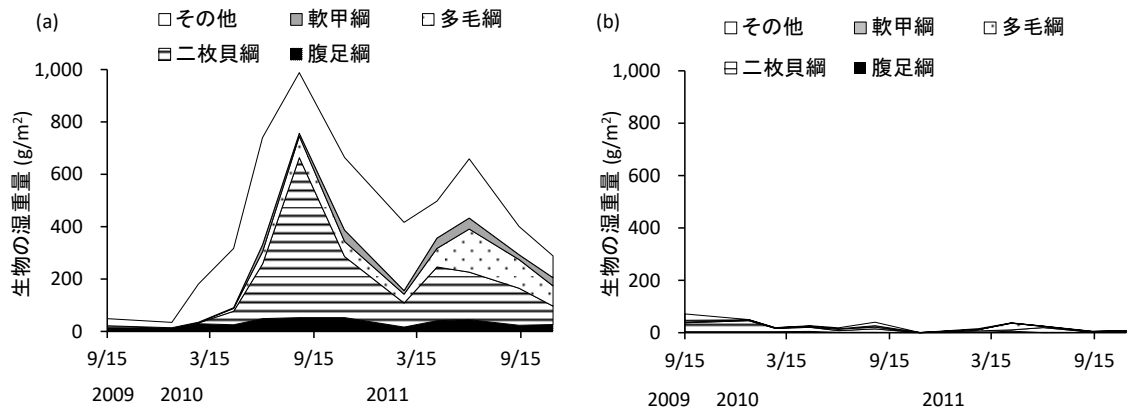


図-8 試験区および対照区におけるベントスの湿重量の推移 (a) 試験区, (b) 対照区

となり、多毛綱、軟甲綱の生物が比較的多くみられた。2010年4月以降について試験区と対照区の種類数を比較すると、試験区では 84.0 ± 15.3 、対照区では 32.3 ± 14.0 となり、試験区において有意に高い値を示した (U-test, $p < 0.01$)。

単位面積当たりのベントスの個体数は、敷設前の試験区では 613.3 inds/m^2 であったが、2010年4月には $1,480.0 \text{ inds/m}^2$ となり、2011年の6月には期間中最高となる $5,935.0 \text{ inds/m}^2$ となった (図-7(a))。2010年4月以降の綱別の個体数は、腹足綱、二枚貝綱、多毛綱、軟甲綱、その他の順に、 $337.6 \pm 171.2 \text{ inds/m}^2$ 、 $447.6 \pm 184.0 \text{ inds/m}^2$ 、 $1,454.3 \pm 882.3 \text{ inds/m}^2$ 、 $681.5 \pm 555.3 \text{ inds/m}^2$ 、 $334.6 \pm 162.2 \text{ inds/m}^2$ となり、多毛綱、軟甲綱が比較的多かった。

対照区では、敷設前には $1,066.7 \text{ inds/m}^2$ であったが、2010年4月には $1,320.0 \text{ inds/m}^2$ となり、2011年の4月には期間中最高となる $2,015.0 \text{ inds/m}^2$ となった (図-7(b))。2010年4月以降の綱別の個体数は、腹足綱、二枚貝綱、多毛綱、軟甲綱、その他の順に、 $134.6 \pm 100.0 \text{ inds/m}^2$ 、 $455.7 \pm 308.1 \text{ inds/m}^2$ 、 $397.8 \pm 424.4 \text{ inds/m}^2$ 、 $267.6 \pm 374.3 \text{ inds/m}^2$ 、 $19.6 \pm 16.7 \text{ inds/m}^2$ となり、多毛綱、軟甲綱の生物が比較的多くみられた。2010年4月以降について両区を比較すると試験区では $3,255.6 \pm 1,451.4 \text{ inds/m}^2$ 、対照区では $1,275.4 \pm 650.9 \text{ inds/m}^2$ となり、試験区で有意に高い値を示した (U-test, $p < 0.01$)。

生物の湿重量は、敷設前の試験区では 48.7 g/m^2 であったが、2010年の4月には 316.7 g/m^2 となり、2010年の8月

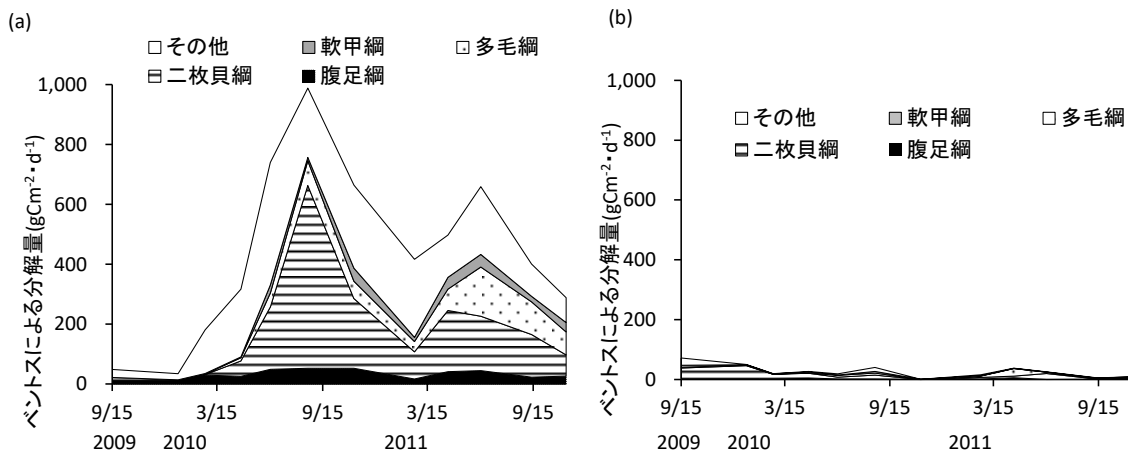


図-9 試験区および対照区におけるベントスによる有機物の分解量の推移 (a) 試験区, (b) 対照区

には期間中最高となる988.1 g/m²となった (図-8(a)). 2010年4月以降の網別の湿重量は、腹足綱、二枚貝綱、多毛綱、軟甲綱、その他の順に、 36.7 ± 13.8 g/m², 199.4 ± 167.5 g/m², 72.5 ± 44.9 g/m², 25.5 ± 14.8 g/m², 218.1 ± 99.1 g/m²となり、二枚貝綱が比較的多かった。対照区では、敷設前には71.7 g/m²となり、以降もその値を上回ることなく推移した (図-8(b)). 2010年4月以降の網別の湿重量は、腹足綱、二枚貝綱、多毛綱、軟甲綱、その他の順に、 1.8 ± 2.1 g/m², 7.6 ± 6.9 g/m², 6.1 ± 7.5 g/m², 1.5 ± 1.7 g/m², 2.8 ± 4.2 g/m²となり、二枚貝綱が比較的多かった。2010年4月以降について両区を比較すると、試験区では 552.3 ± 228.8 g/m²、対照区では 19.8 ± 13.9 g/m²となり、両者の間には有意差がみられた (U-test, $p < 0.01$).

(4) カキ殻敷設区における有機物の分解機能

敷設前の2009年9月における試験区では77.5 mgC/d/m²であったが、2010年の2月には119.8 mgC/d/m²となった (図-9)。2011年2月に72.1 mgC/d/m²となり、一時的に低下したが、2011年6月には期間中最高となる550.4 mgC/d/m²となった。敷設前の対照区では82.2 mgC/d/m²であった。その後、2011年8月に107.3 mgC/d/m²となり、期間中最高となる値を示したが、それ以外では100 mgC/d/m²を上回ることなく推移した。2010年4月以降について両区を比較すると、試験区では 313.0 ± 156.3 mgC/d/m², 34.0 ± 32.1 mgC/d/m²となり、両者の間には有意差がみられた (U-test, $p < 0.01$).

4. 考察

本報では、底質がシルト化している閉鎖性内湾においてカキ殻を敷設し、敷設場所における生物相の変化と有機物の分解量について調べた。

まず、敷設現場における海底地形の状況についてみると、対照区と比較して敷設区の水深は30~40 cm程度浅

く、その形状も敷設当初の状態をほぼ維持していた (図-3)。現場の海底直上の大潮最強時の流速は、0.10~0.15 m/sであり、0.5 m/sの水平方向の一樣流においては、全形2.0 mm以上のカキ殻は移動しないことが分かっている¹⁰⁾。これらのことから、調査海域における流速がカキ殻の掃流速よりも遅かったために、逸散することなく、敷設時の状態が維持されたと考えられた。本報と同様にカキ殻のみを潮下帯に敷設する際には、あらかじめ海域の流速を測定した上で、敷設場所を選定する必要がある。

試験区と対照区の海底直上の水質は、濁度についてのみ違いがみられ、試験区において低い値を示した (図-4)。試験区では浮泥の堆積がほとんどなく、カキ殻表面が常に露出していたため (図-2)、海底付近の巻き上がりが少なかったと考えられた。一方、水温、塩分、DOは、両区において明確な違いはなかった。季節変化に伴う水温の変化がみられたものの、塩分とDOに関しては調査日ごとの変化もほとんどみられなかった。これらのことから、水質の違いがベントスに与える影響は小さく、両区の間での生物相の違いは主に底質の違いに起因するものと考えられた。

対照区のCODとILは、水質と同様に調査日ごとの変化は小さく、ほぼ一定の値で推移していた (図-5)。CODは、生物にとって不適とされる値ではなかったが、近年の瀬戸内海におけるCODとILの平均値 (COD: 12.0 mg/dg, IL: 6.5%)と比較すると両値ともに高い値を示した¹¹⁾。また、敷設前の試験区の泥分率は、95%を超えており、一般的な瀬戸内海の底質と比較すると悪く、その結果として後述するとおり、生物の現存量も少なかったものと考えられた。

敷設2ヶ月後からは、試験区ではベントスの種類数、個体数、湿重量のいずれの項目においても敷設前と比較して高い値を示し (図-6~8)、敷設4ヶ月以降は、対照区との間に有意な違いがみられた。人工的に作った漁場におけるベントスの遷移状況は、設置場所の環境、設

置時期によって大きく異なると考えられるが、鬼塚ら¹²⁾は人工魚礁における生物の遷移過程を整理し、設置1ヶ月後に細菌叢が安定するとともにデトライタス食のグループの生物が定着する。2~3ヶ月後に肉食・腐肉食のグループの密度が、3~8ヶ月後に濾過食グループの密度が上昇する。10~19ヶ月後に生物相そのものが安定平衡状態に至るとしている。本報においても、敷設2~4ヶ月後からベントスが増加し始め、敷設10ヶ月後からは生物の種類数はほぼ安定状態になったことから、一般的な人工魚礁と同様の遷移を経ている。

さらに、試験区におけるベントスによる有機物の分解量の平均値：313.0 mgC/d/m²を基に(図-9)、年間の炭素換算した有機物の分解量を計算すると114.2 kgC/y/1,000 m²となった。この値は、同様の方法で計算されたカキ殻を用いた人工魚礁における原口ら⁷⁾の値：4.3 gC/d/m²、加村ら⁸⁾の値：5.8 gC/d/m²と比較すると低かった。これらの研究では、カキ殻をメッシュ状のパイプに詰めたテストピースにおける生物の結果を用いて計算しており、カキ殻の敷設と比較して、単位体積当たりの間隙と表面積が大きい。そのため、本報と比較して生物の現存量は多く、生物による分解量も大きくなったと考えられた。また、本報では表層のベントス量をもとに計算を行っており、表層5cm以深に生息している生物の影響は考慮していない。カキ殻をランダムに積み上げた場合には、泥や砂の底質と比較して間隙が大きくなり、通常と海底と比較するとより深い場所でも生物の生息が可能となる。これらのことから、敷設区全体ではより多くの生物が存在し、より高い分解機能を有していると考えられた。

今回、底質の悪化した閉鎖的な海域において、カキ殻の敷設によって底生生物が増加するとともに、生物による有機物の分解作用“バイオレメディエーション”によって、自らの生息環境を維持していた可能性を示した。今後は、表層以外の生物相を調べるとともに堆積量についても調べ、敷設区が維持される機構を明らかにする必要がある。

謝辞：本報は、平成21~23年度農林水産省農林水産技術会議「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業カキ殻など二枚貝の貝殻を利用した総合的な底質改良技術の開発」における成果の一部を示したものである。また、本研究を実施するに当たり、協力していただいた関係漁協の方々、様々なご助言をいただいた奥田節夫 京都大学名誉教授、柳 哲雄 九州大学名誉教授、九州大学大学院清野聡子准教授には謝意を表します。

参考文献

- 1) 山下 洋：森・里・海とつながる生態系，沿岸海洋研究，48，pp.131-133，2011.
- 2) 山本民次：閉鎖性海域における物質循環と環境管理に関する研究，水産海洋研究，75，pp.54-62，2011.
- 3) 井内美郎：海砂採取の歴史・現状・今後，瀬戸内海の底質環境，恒星社厚生閣，東京，pp.89-94，2008
- 4) 水産庁：漁場造成における水産系副産物（貝殻）リサイクルガイドライン，東京，2007.
- 5) 中田喜三郎，畑 恭子：沿岸干潟における浄化機能の評価，水環境学会誌，17，pp.158-166，1994.
- 6) Ikeda, T.: Nutritional ecology of marine zooplankton, Mem. Fac. fish. Hokkaido Univ, 22, pp. 1-97, 1974.
- 7) 原口浩一，山本民次，片山貴之，山形陽一，松田治：人工中層海底による養殖場沈降有機物の分解促進，日水誌，74，pp.429-431，2008.
- 8) 加村 聡，藤澤真也，片山貴之，齋藤達昭，岸本英昭，田原 実：港湾内に設置した生物生息基質の水質浄化機能の定量化，土木学会論文集 B3，67，pp.304-309，2011.
- 9) 日本水産資源保護協会：水産用水基準2012年版，日本水産資源保護協会，東京，2012.
- 10) 岡山県：カキ殻を利用した総合的な底質改良技術ガイドライン，岡山，2013.
- 11) 駒井幸雄：瀬戸内海の底質・ベントスの変化，瀬戸内海の底質環境，恒星社厚生閣，東京，pp.43-59，2008.
- 12) 鬼塚年弘，黒木洋明，丹羽健太郎，早川 淳・照井方舟，旭 隆，元 南一，河村和彦，堀井豊充：相模湾長井地先に新設された人工礁とその周辺岩礁域における底生生物相・細菌叢の変遷過程，水産増殖，61，pp.227-292，2013.

(2017.2.2 受付)

FLUCTUATIONS OF THE BENTHIC FAUNA AND DECOMPOSITION ABILITY FOR THE ORGANIC MATTER ON THE OYSTERSHELL-OVERLAID SEA FLOOR IN A CLOSED SEA AREA, BISAN STRAIT.

Shuzo TAKAGI, Masayoshi KONDOH, Hiroshi HAYASHI, Shinya FUJISAWA and Satoru KAMURA

We laid out the waste oyster shells in a closed harbor area on the western part of Bisan Seto, and researched the change of biota. Various organisms increasing since two months later, they have reached 117 kinds (2.2 times of the control), 4,700 inds/m² (2.3 times) and 487.3 g/m² (13.2 times) for 1.5 years. Resolved carbon was calculated at 114.2 kgC/year/1,000 m². The shells layer kept to be visible, not buried, at sea floor in this period. These results are suggested that the biological activities can make diversity and biomass in the shells layer increase, and keep not covering with organic particles.